

基于红外相机对广东连南大陂保护区林下 鸟兽多样性监测*

林泽花¹ 周志恩¹ 何向阳² 唐剑华¹
郑寿松¹ 张礼标²

(1. 广东连南大陂省级自然保护区管理处, 广东 连南 513300;
2. 广东省科学院 动物研究所/广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东 广州 510260)

摘要 林下大中型兽类和地栖型鸟类的监测是生物多样性保护的重要一环。通过公里网格抽样方案, 在广东连南大陂省级自然保护区全域及其周边共设置 43 个红外相机监测点, 对保护区内及周边大中型兽类和地栖型鸟类开展物种多样性监测, 并分析保护区内外物种多样性的差异。2022 年 4 月—2023 年 4 月, 红外相机累计有效工作时长 13 765 个相机日, 拍摄独立有效照片共计 1 502 份, 其中兽类 687 份、鸟类 815 份。共鉴定 43 种野生动物, 隶属于 2 纲 11 目 23 科, 其中兽类 16 种、鸟类 27 种; 属于国家一级重点保护野生动物 1 种 (黄腹角雉 *Tragopan caboti*), 国家二级重点保护动物 10 种, 其中兽类 4 种, 鸟类 6 种。相对多度指数排前三的兽类依次为野猪 *Sus scrofa*、鼬獾 *Melogale moschata*、红腿长吻松鼠 *Dremomys pyrrhomerus*, 鸟类依次为白鹇 *Lophura nycthemera*、虎斑地鸫 *Zoothera aurea*、紫啸鸫 *Myophonus caeruleus*; 网格占有率排前三的兽类依次为野猪、豹猫 *Prionailurus bengalensis*、鼬獾, 鸟类依次为白鹇、虎斑地鸫、紫啸鸫。研究结果初步掌握了广东连南大陂省级自然保护区及周边区域大中型兽类和地栖型鸟类种类组成、相对多度及分布状况。

关键词 红外相机技术; 大陂保护区; 大中型兽类; 地栖型鸟类

中图分类号: S718.6 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2023) 06-0062-12

Mammals and Birds Diversity Survey Using Camera Trapping in Guangdong Liannan Dani Provincial Nature Reserve

LIN Zehua¹ ZHOU Zhien¹ HE Xiangyang² TANG Jianhua¹
ZHENG Shousong¹ ZHANG Libiao²

(1. Administration of Guangdong Liannan Dani Provincial Nature Reserve, Liannan, Guangdong 513300, China;

2. Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences/Guangdong Key Laboratory of Animal
Conservation and Resource Utilization, Guangzhou, Guangdong 510260, China)

Abstract Monitoring of large and medium-sized mammals and terrestrial birds is an important part of biodiversity conservation. In this study, we monitored the species diversity of large and medium-sized mammals and terrestrial birds based on the 43 camera trapping sites in Guangdong Liannan Dani Provincial Nature Reserve

* 基金项目: 广东省科技计划项目 (2021B1212110003, 2021B1212050021)。

第一作者: 林泽花 (1981—), 女, 兽医师, 主要从事生物多样性研究, E-mail: 13927601399@qq.com。

周志恩 (1985—), 男, 助理工程师, 主要从事生物多样性研究, E-mail: 874119412@qq.com。

通信作者: 张礼标 (1976—), 男, 研究员, 主要从事动物生态学研究, E-mail: zhanglb@giz.gd.cn。

and its surrounding forests and then compared the species diversity between inside and outside of the reserve. A total of 1502 independent images (687 belonged to mammals, 815 belonged to birds) were collected with up to 13765 camera days from April 2022 to April 2023. We recorded 43 species belonging to 2 classes, 11 orders, and 23 families. There were 16 mammal species and 27 bird species, among which Cabot's tragopan (*Tragopan caboti*) was listed as Class II National Key Protected, and 10 species were listed as Class II National Key Protected Species in China. According to the relative abundance index (RAI), the top three mammal species were *Sus scrofa*, *Melogale moschata*, and *Dremomys pyrrhomerus*; and the top three avian species *Lophura nycthemera*, *Zoothera aurea*, and *Myophonus caeruleus*. According to the grid occupancy, the top three mammals were *Sus scrofa*, *Prionailurus bengalensis*, and *Melogale moschata*; and the top three avian species were *Lophura nycthemera*, *Zoothera aurea*, and *Myophonus caeruleus*. The results of this study provide basic data for the species composition, relative abundance, and distribution of large and medium-sized mammals and terrestrial birds inside and outside Guangdong Liannan Dani Provincial Nature Reserve.

Key words camera trapping; Dani nature reserve; large and medium-sized mammals; terrestrial birds

使用红外相机对大中型兽类和地栖型鸟类开展调查,相较于传统的样线法调查具有明显的优势,已经成为目前重要的调查方法,并广泛应用于物种资源的编目评估^[1]。红外相机调查方法可对野生动物进行长期的监测,较为全面、准确地掌握区域内的物种多样性,分析其时空上的动态变化^[2-3]。对于保护地,生物多样性编目是开展科学研究的基础,也是相关管理部门对生物多样性的保护进行有效评估和制定政策的前提^[4-6]。

本研究以广东连南大陂省级自然保护区(以下简称大陂保护区)为监测样地,基于红外相机技术对大中型兽类和地栖型鸟类进行物种编目清查与评估。大陂保护区动植物多样性相关的研究报道较少,余杰华^[7]总结了该保护区及周边的生物多样性,其中维管束植物 879 种,鱼类 28 种,陆生脊椎动物 188 种(两栖类 34 种,爬行类 32 种,鸟类 102 种,兽类 20 种)。本研究通过一年周期的红外相机监测,分析大陂保护区大中型兽类和地栖型鸟类的物种多样性及其季节、海拔等变化,为保护区今后制定保护制度和规划提供基础资料数据。

1 研究方法

1.1 调查区域

大陂保护区位于连南瑶族自治县西南角,距离连南县城 78 km,属香坪镇管辖范围。地理坐标为北纬 24°23′15.5″至 24°25′22.9″,东经 112°08′26.8″至 112°11′36.2″之间,地处亚热带。2000 年连南县农业局获悉在该县香坪镇排肚村发现国家重点保护野生动物大陂,据此建立了连南大陂县级

保护区;2003 年被确定为清远市市级保护区;2005 年晋升为省级自然保护区。保护区东南与连山县为界;东西最长约 5.2 km,南北最宽约 4.6 km,总面积 14.93 km²。大陂保护区属于中低山地貌,地势呈东南高、西北低,海拔范围为 400~1 550 m,河谷切割深多呈 U 形谷或 V 型谷,地势起伏大,山地坡度多在 25°~50°之间,个别地段达 60°以上。

大陂保护区属中亚热带季风气候区,因海拔相对较高,又具有山地气候特色。据连南气象资料,保护区年均气温 19.1℃,最热月(7 月)平均气温 26.7℃,最冷月(1 月)平均气温 9.8℃;年均日照时数 1 515 h,年活动积温 6 750℃,有效积温 2 951.4℃(全县);年平均无霜期 303.6 d,年均霜日 11 d,年均降雪 2.2 d(全县);雨量充沛,雨热同季,年平均降雨量 1 930.2(±385.8)mm;雨季在 3—8 月,占全年降雨量的 76.3%;年均相对湿度 79%,年均蒸发量 1 313.5 mm(全县)。

1.2 红外相机布设方案

以大陂保护区及周边区域为监测样地,制作成公里网格地图,在公里网格中根据野生动物的生态习性特点及其对生境条件的要求,布设红外相机。利用地理信息系统(GIS)将保护区及周边区域进行网格化划分,将保护区全域划分成 1 km×1 km 的公里网格,按 2 台/km²的布设密度,每 1 km²的网格内布设 2 台红外相机,保护区内共计布设 30 台;为了对比保护区内外动物多样性差异,在保护区外按 1 台/km²布设 13 台红外相机(图 1)。相机位点海拔范围为 448~1 550 m,不同

位点之间的间距均大于 500 m, 位点周围不放置任何诱饵。

监测时间为 2022 年 4 月至 2023 年 4 月, 使用东方红鹰 E3 相机, 设置为全天 24 h 连续工作模式, 选择拍照 + 视频模式, 每次触发即拍照 3 张、摄像 10 s, 连续 2 次拍摄最短时间间隔 1 min, 灵敏度设为中。每 4 个月收集数据并更换电池, 即 2022 年 8 月、12 月和 2023 年 4 月。选择动物活动痕迹较多的地点如兽径、水源点、取食痕迹较多处作为相机监测位点, 相机前方尽量开阔无杂草或小灌丛, 并尽可能避开阳光直射, 相机镜头顺着兽径以保证动物通过相机前的时间最长。相机固定于树干上, 离地面的高度 30 ~ 50 cm, 相机镜头与地面平行或与地面呈 $< 5^\circ$ 的俯视角。记录每一台相机位点编号以及放置的日期、经纬度、海拔、植被类型、优势种、坡度、坡向等信息。

1.3 数据分析

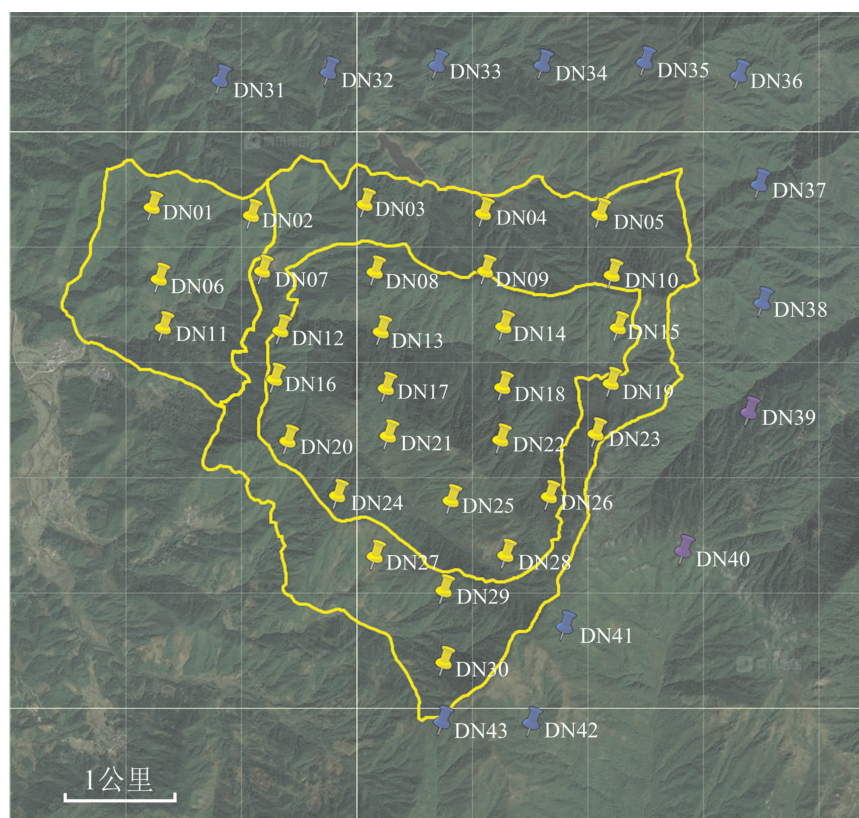
监测期间红外相机拍摄的照片和视频下载到计算机后, 按照编号建立文件夹, 分别将每个相

机位点上所拍摄的照片和视频存入对应的文件夹。将照片按兽类、鸟类、其他有效照片和无效照片等进行归类, 并根据动物外形特征进行物种鉴定与分类。动物物种鉴定、分类系统参考《中国兽类野外手册》^[8]、《中国兽类名录 (2021 版)》^[9]、《中国鸟类野外手册》^[10]、《中国鸟类分类与分布名录 (第三版)》^[11]。对于同一相机位点同期触发拍摄的时间连续的 (30 min 内)、含同一物种的一组照片或视频算作 1 张独立有效照片^[12], 单台红外相机在野外连续工作 24 h 的记为 1 个相机工作日。

通过野外拍摄到的红外相机图像数据, 分析获得大鲵保护区及周边区域大中型兽类和地栖型鸟类物种名录, 结合独立有效照片数以及在相机位点出现频次计算物种的相对多度指数 (Relative Abundance Index, RAI) 和网格占有率 (Grid Occupancy, GO_i)^[3,13]。

(1) 相对多度指数 (RAI)

采用动物的相对多度指数评估其在该区域内的种群数量高低。相对多度指数是指某一调查区



注: 黄色线为保护区功能区边界线, 黄色钉为保护区内红外相机布设点, 紫色钉为保护区外红外相机布设点。

Note: Yellow line: Boundary line of nature reserve functional area. Yellow nail: placement points of infrared camera inside nature reserve. Purple nail: placement points of infrared camera outside nature reserve.

图 1 红外相机布设示意

Fig. 1 The sketch map of infrared camera distribution

域内, 每 100 个单位相机日所获取某一物种在所有相机位点的独立有效照片数。相对多度指数按以下公式计算:

$$RAI = A_i / N \times 100$$

其中, A_i 代表物种 i 的独立有效照片数, N 代表总有效相机工作日。

(2) 网格占有率 (GO_i)

采样网格占有率评估某一物种在该区域内的空间分布情况。网格占有率也称为物种相机位点出现率, 指某一调查区域内某物种被拍到的相机位点数占所有相机位点数的百分率。网格占有率按以下公式计算:

$$GO_i = n_i / N \times 100\%$$

式中: n_i 代表物种 i 被记录到的相机点数; N 代表所有正常工作的相机位点数。

利用 Shannon-winner 多样性指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数分别对大陂保护区内外的鸟兽多样性进行对比分析。数据采用平均值 $\pm$ 标准差 ($\text{mean} \pm \text{SD}$) 表示。所有数据均采用统计软件 SPSS 20.0 进行分析处理。不同生境因子间的物种数、有效照片数, 以及保护区内外的物种数、有效照片数、多样性指数差异性比较采用单因素方差 (One-way ANOVA) 或独立样本 t 检验 (Student's t -test) 进行分析; 物种数、有效照片数与海拔之间的相关性使用皮尔逊相关性分析 (Pearson correlation); 显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 物种多样性分析

在大陂保护区监测期间共安装红外相机 43 台, 均正常回收数据。总计监测 13 765 个有效工作日, 拍摄到 18 131 张照片和 6 434 份视频, 进行筛选处理以后 (老鼠、蝙蝠、人、家畜等未计入), 独立有效照片共计 1 502 张, 其中大中型兽类 687 张、地栖型鸟类 815 张, 各占 45.7%、54.3%。

本次调查共记录到 43 种大中型兽类和地栖型鸟类, 隶属于 11 目 23 科。其中兽类 16 种, 隶属于 4 目 9 科; 鸟类 27 种, 隶属于 7 目 14 科 (表 1)。记录到国家一级重点保护动物 1 种, 为黄腹角雉 *Tragopan caboti*; 国家二级重点保护野生动物 10 种 (兽类 4 种、鸟类 6 种), 合计 11 种, 占记录总物种数的 25.6%。国家二级重点保护野生动物分别为猕猴 *Macaca mulatta*、斑林狸 *Prionodon pardicolor*、豹猫 *Prionailurus bengalensis*、毛冠鹿 *Elaphodus cephalophus*、白眉山鹧鸪 *Arborophila gingica*、白鹇 *Lophura nycthemera*、凤头鹰 *Accipiter trivirgatus*、仙八色鸫 *Pitta nympha*、画眉 *Garrulax canorus*、黑喉噪鹛 *Garrulax chinensis*。被列入 CITES 附录 I 的有 3 种、附录 II 的有 4 种、附录 III 的有 4 种。本次红外相机拍摄到的鼠科等鼠类、以及翼手目物种, 由于难于鉴定到种, 未计入物种数和独立有效照片数的统计。

表 1 广东连南大陂省级自然保护区红外相机监测到的动物分类阶元及珍稀濒危物种数

Table 1 The animal taxonomic category and number of rare and endangered species monitored by infrared camera in Guangdong Liannan Dani Provincial Nature Reserve

项目 Items	目 Orders	科 Families	种 Species
大中型兽类 Large and medium-sized mammals	4	9	16
地栖型鸟类 Terrestrial birds	7	14	27
合计 Total	11	23	43
国家一级重点保护动物 National first-class key protected animals	1	1	1
国家二级重点保护动物 National second-class key protected animals	6	8	10
CITES 附录 I	2	3	3
CITES 附录 II	3	4	4
CITES 附录 III	2	4	4

红外相机拍摄到的 43 种鸟兽中, 被 IUCN 红色名录^[14]列为易危等级 (VU) 的有 2 种, 分别为黄腹角雉和仙八色鸫, 列为近危等级 (NT) 的有 2 种, 为毛冠鹿和白眉山鹪鹩。被《中国脊椎动物红色名录》^[15]列为濒危等级 (EN) 的有 1 种, 为黄腹角雉, 列为易危等级 (VU) 的有 7 种, 分别为斑林狸、豹猫、小鹿 *Muntiacus reevesi*、毛冠鹿、白眉山鹪鹩、白喉斑秧鸡 *Rallina eurizonoides*、仙八色鸫, 列为近危等级 (NT) 的有 10 种, 分别为黄腹鼬 *Mustela kathiah*、鼬獾 *Melogale moschata*、猪獾 *Arctonyx collaris*、花面狸 *Paguma larvata*、食蟹獾 *Herpestes urva*、赤鹿 *Muntiacus muntjak*、红腿长吻松鼠 *Dremomys pyrrhomerus*、凤头鹰、画眉、白眉鸫 *Emberiza tristrami* (表 2)。

网格占有率最高的大中型兽类是野猪 (81.40%, 35/43), 其次是豹猫 (51.16%, 22/43)、鼬獾 (48.84%, 21/43)、红腿长吻松鼠 (46.51%, 20/43); 网格占有率最高的鸟类是白鹇 (93.02%, 40/43), 其次是虎斑地鸫 (44.19%, 19/43)、紫啸鸫 (32.56%, 14/43)。相对多度指数 RAI 最高的大中型兽类是野猪 (1.16), 其次为鼬獾 (0.68)、红腿长吻松鼠 (0.46); RAI 最高的鸟类是白鹇 (4.37), 其次是虎斑地鸫 (0.47)、紫啸鸫 (0.30) (表 2)。大中型兽类和地栖型鸟类一并统计结果表明, 网格占有率排前三的是白鹇、野猪、豹猫, 相对多度指数排前三的是白鹇、野猪、鼬獾。

2.2 物种多样性的季节变化

本次监测时间为 2022 年 4 月中旬到 2023 年 4 月中旬, 获得了完整的一年数据。从季节来看, 不同月份拍摄到的兽类物种数量相对稳定, 而鸟类物种数量有较明显的变化 (图 2)。其中, 在 5 月拍摄到的大中型兽类物种数较多, 达到 13 种, 而 11 月份拍摄到的兽类物种数最少, 仅 6 种; 对于地栖型鸟类物种数量, 3 月 (11 种)、4 月 (10 种)、1 月 (10 种) 较高, 而 6 月 (2 种)、5 月 (3 种)、9 月 (4 种) 相对较低。不同月份拍摄到的有效照片数则鸟兽均表现出比较明显的变化 (图 2)。其中, 大中型兽类有效照片数在 2 月份拍摄到最多 (60 张), 其次为 5 月、8 月 (均为 51 张), 而 6 月份拍摄到的有效照片数最少 (22 张)。按季节来统计发现, 冬季 (12 月—

次年 2 月) 拍摄到的有效照片数最多 (141 张), 其次为春季 (3—5 月, 130 张)、秋季 (9—11 月, 122 张), 而夏季 (6—8 月) 拍摄到的有效照片数最少 (108 张)。地栖型鸟类有效照片在 5 月份拍摄到最多 (106 张), 其次为 10 月 (105 张)、8 月 (101 张), 按季节来统计发现, 秋季 (9—11 月) 拍摄到的有效照片最多 (263 张), 其次为春季 (3—5 月, 232 张)、夏季 (6—8 月, 200 张), 冬季 (12—次年 2 月, 109 张) 最低。

2.3 物种多样性与生境因子的相关性

相关性统计结果表明, 监测到的鸟兽物种数、有效照片数均与海拔梯度呈显著正相关性 (Pearson: $r_{\text{物种数}} = 0.453$, $P < 0.05$; $r_{\text{有效照片数}} = 0.335$, $P < 0.05$), 鸟兽物种数和有效照片数均随着海拔升高而增加, 呈双峰模式 (图 3)。

方差统计分析结果表明, 监测到的鸟兽物种数、有效照片数在不同植被类型 (常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林、竹林) 之间差异均显著 (ANOVA: $F_{\text{物种数}} = 2.37$, $P < 0.05$; $F_{\text{有效照片数}} = 2.45$, $P < 0.05$) (表 3), 常绿阔叶林拍摄到的物种数和有效照片数均相对较高, 其次为针阔混交林、针叶林, 而竹林则相对较少。在不同坡向 (南坡、北坡) 监测到的鸟兽物种数无显著差异 (t -test: $t = 0.75$, $P > 0.05$), 但是南坡拍摄到的鸟兽有效照片数比北坡的多, 差异显著 (t -test: $t = 2.25$, $P < 0.05$)。监测到的鸟兽物种数、有效照片数在不同坡度 (陡坡、缓坡、平坦) 均无显著差异 (ANOVA: both, $P > 0.05$)。监测到的鸟兽物种数、有效照片数在距离水源不同距离 (小于 100 m、大于 100 m) 的统计结果表明, 距离水源较远的位点鸟兽物种数和有效照片数均高于距离水源较近的位点 (t -test: both, $P < 0.05$)。监测到的鸟兽物种数、有效照片数在不同乔木密度 (稀疏、密) 间均无显著差异 (t -test: both, $P > 0.05$)。

2.4 保护区内外物种多样性对比

对比保护区内与保护区外红外相机监测到的鸟兽数据, 结果表明, 大中型兽类和地栖型鸟类的物种数、有效照片数、以及 Shannon-wiener 指数、Simpson 指数、Pielou 指数差异均不显著 (t -test: all $P > 0.05$; 表 4)。

表 2 广东连南大陂省级自然保护区及其周边区域红外相机所记录的物种相对多度指数和网格占有率

纲 Class	目 Order	科 Family	物种 Species	国家保护等级 National protected category	CITES 附录	IUCN 红色名录 IUCN Red List	中国红色名录 China Red List	相对多度指数 RAI	有效照片数 No. of valid photo	网络占有率/% Grid occupancy	网格数 No. of grid
I 哺乳纲 MAMMALIA	一、灵长目 PRIMATES	(一)猴科 Cercopithecidae	1. 猕猴 <i>Macaca mulatta</i> △	二	II	LC	LC	0.007	1	2.33	1
			2. 黄腹鼬 <i>Mustela kathiah</i>								
	二、食肉目 CARNIVORA	(二)鼬科 Mustelidae	3. 鼬獾 <i>Melogale moschata</i>		III	LC	NT	0.007	1	2.33	1
			4. 猪獾 <i>Arctonyx collaris</i> △								
			5. 斑林狸 <i>Prionodon pardicolor</i> △								
			6. 花面狸 <i>Paguma larvata</i> △								
	(三)灵猫科 Viverridae		7. 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	二	I	LC	VU	0.029	4	27.91	12
			8. 食蟹獾 <i>Herpestes urva</i> △								
			9. 野猪 <i>Sus scrofa</i>								
			10. 赤鹿 <i>Muntiacus muntjak</i> △								
	(四)猫科 Felidae		11. 小麂 <i>Muntiacus reevesi</i> △	二	III	LC	VU	0.109	15	6.98	3
			12. 毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i> △								
			13. 赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i> △								
			14. 红腿长吻松鼠 <i>Dremomys pyrrhomerus</i>								
三、鲸偶蹄目 CETARTIODACTYLA	(五)獐科 Herpestidae		9. 野猪 <i>Sus scrofa</i>		III	LC	LC	1.162	160	81.40	35
			10. 赤鹿 <i>Muntiacus muntjak</i> △								
	(六)猪科 Suidae		11. 小麂 <i>Muntiacus reevesi</i> △		III	LC	VU	0.109	15	6.98	3
			12. 毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i> △								
	(七)鹿科 Cervidae		13. 赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i> △		III	LC	LC	0.138	19	23.26	10
			14. 红腿长吻松鼠 <i>Dremomys pyrrhomerus</i>								
	(八)松鼠科 Sciuridae		15. 赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i> △		III	LC	LC	0.138	19	23.26	10
			16. 红腿长吻松鼠 <i>Dremomys pyrrhomerus</i>								
	四 啮齿目 RODENTIA		17. 赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i> △		III	LC	LC	0.138	19	23.26	10
			18. 红腿长吻松鼠 <i>Dremomys pyrrhomerus</i>								
	五 兔形目 LAGOMORPHA		19. 赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i> △		III	LC	LC	0.138	19	23.26	10
			20. 红腿长吻松鼠 <i>Dremomys pyrrhomerus</i>								

纲 Class	目 Order	科 Family	物种 Species	国家保护等级 National protected category	CITES 附录	IUCN 红色名录 IUCN Red List	中国红色名录 China Red List	相对多度指数 RAI	有效照片数 No. of valid photo	网格占有率/% Grid occupancy	网格数 No. of grid
II 鸟纲 AVES	五、鸡形目 GALLIFORMES	(九) 竹鼠科 Rhizomyidae	15. 倭花鼠 <i>Tamias maritimus</i> △			LC	LC	0.058	8	9.30	4
			16. 银星竹鼠 <i>Rhizomys pruinosus</i> △			LC	LC	0.21	3	46.51	20
		(十) 雉科 Phasianidae	17. 白眉山鹧鸪 <i>Arborophila gingica</i> △	二		NT	VU	0.015	2	2.32	1
			18. 灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracicus</i> △			LC	LC	0.247	34	18.60	8
			19. 白鹇 <i>Lophura nycthemera</i>	二		LC	LC	4.366	601	93.02	40
			20. 黄腹角雉 <i>Tragopan caboti</i> △	一	I	VU	EN	0.015	2	4.65	2
		(十一) 鸠鸽科 Columbidae	21. 山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>			LC	LC	0.007	1	2.33	1
		(十二) 秧鸡科 Rallidae	22. 白喉斑秧鸡 <i>Rallina eurizonoides</i>			LC	VU	0.007	1	2.33	1
		(十三) 鹑科 Scolopacidae	23. 丘鹑 <i>Scolopax rusticola</i> △			LC	LC	0.037	5	9.30	4
		(十四) 鹰科 Accipitridae	24. 凤头鹰 <i>Accipiter tringatus</i> △	二	II	LC	NT	0.015	2	4.65	2
	十、啄木鸟目 PICIFORMES	(十五) 啄木鸟科 Picidae	25. 灰头绿啄木鸟 <i>Picus canus</i>			LC	LC	0.007	1	2.33	1
	十一、雀形目 PASSERIFORMES	(十六) 八色鸫科 Pittidae	26. 仙八色鸫 <i>Pitta nympha</i> △	二	II	VU	VU	0.015	2	2.33	1
		(十七) 鸚科 Corvidae	27. 红嘴蓝鸚 <i>Urocissa erythroryncha</i>			LC	LC	0.021	3	2.33	1
			28. 灰树鸚 <i>Dendrocitta formosae</i>			LC	LC	0.015	2	2.33	1
		(十八) 林鸚科 Timaliidae	29. 华南斑胸钩嘴鸚 <i>Pomatorhinus swinhoei</i>			LC	LC	0.007	1	2.33	1

纲 Class	目 Order	科 Family	物种 Species	国家保护等级 National protected category	CITES 附录 List	IUCN 红色名录 IUCN Red List	中国红色名录 China Red List	相对多度指数 RAI	有效照片数 No. of valid photo	网格占有率/% Grid occupancy	网格数 No. of grid
(十九) 噪鹛科 Leiothrichidae			30. 画眉 <i>Garrulax canorus</i>	二	II	LC	NT	0.015	2	2.33	1
			31. 黑喉噪鹛 <i>Garrulax chinensis</i> △	二		LC	LC	0.007	1	2.33	1
			32. 小黑领噪鹛 <i>Garrulax monileger</i> △			LC	LC	0.065	9	11.63	5
			33. 黑领噪鹛 <i>Garrulax pectoralis</i>			LC	LC	0.109	15	27.91	12
			34. 橙头地鸫 <i>Geokichla citrina</i>			LC	LC	0.007	1	2.33	1
			35. 虎斑地鸫 <i>Zoothera aurea</i> △			LC	LC	0.472	65	44.19	19
			36. 灰背鸫 <i>Turdus hortulorum</i> △			LC	LC	0.007	1	2.33	1
			37. 白眉鸫 <i>Turdus obscurus</i> △			LC	LC	0.015	2	4.65	2
			38. 宝兴歌鸫 <i>Turdus mupinensis</i> △			LC	LC	0.007	1	2.33	1
			39. 红胁蓝尾鸫 <i>Tarsiger cyanurus</i> △			LC	LC	0.007	1	2.33	1
			40. 蓝歌鸫 <i>Larivora cyane</i> △			LC	LC	0.015	2	4.65	2
			41. 紫啸鸫 <i>Myophonus caeruleus</i>			LC	LC	0.298	41	32.56	14
			42. 树蓼 <i>Anthus trivialis</i> △			LC	LC	0.015	2	2.32	1
(二十三) 鹀科 Emberizidae			43. 白眉鹀 <i>Emberiza tristrami</i> △			LC	NT	0.029	4	2.32	1

注：△为余杰华^[7]未收录的物种。
Note: △ indicated not appear in Yu^[7].

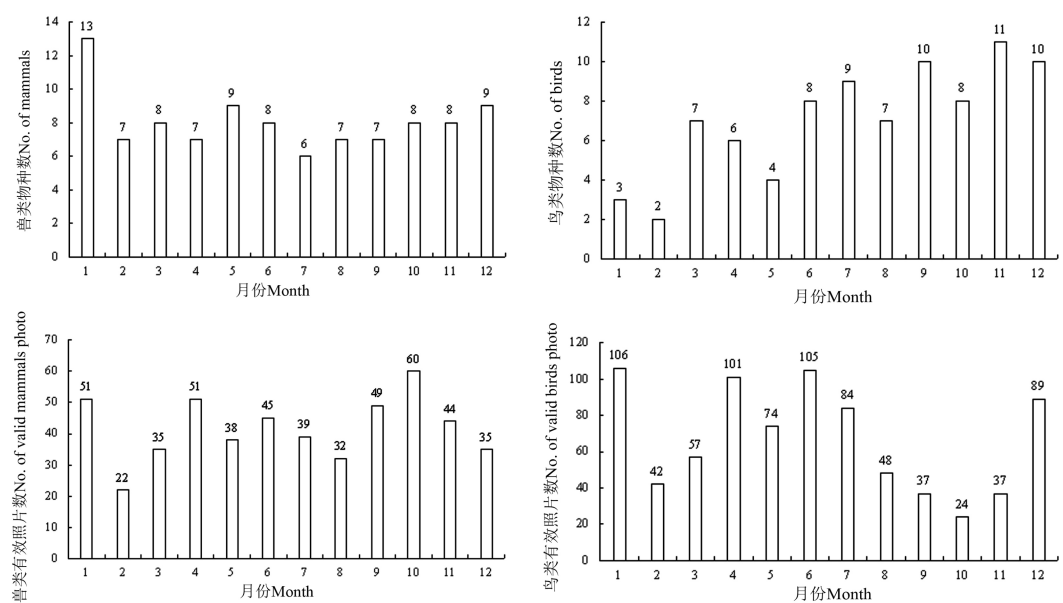


图2 红外相机监测到的鸟兽多样性季节变化

Fig. 2 Seasonal variation of mammals and birds diversity monitored by infrared camera

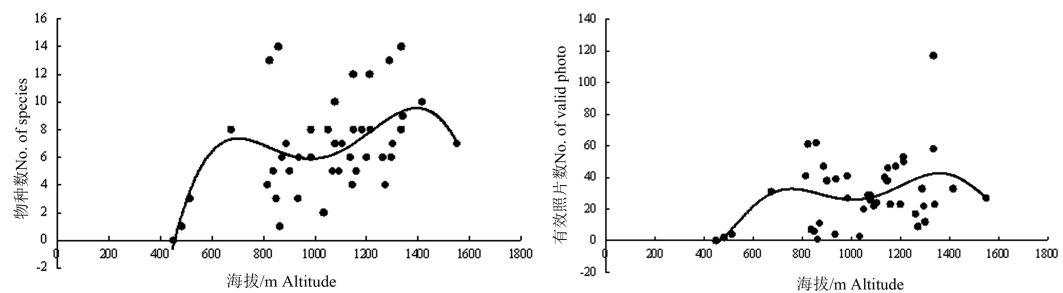


图3 红外相机监测到的鸟兽数量随海拔变化

Fig. 3 The variation of mammals and birds monitored by infrared camera along with altitude

3 结论与讨论

通过一年的红外相机监测,在大鲵保护区共监测到大中型兽类 16 种、地栖型鸟类 27 种,合计 43 种。邻近保护区如广东肇庆鼎湖山及其周边林区监测到的兽类 12 种、鸟类 63 种^[16],广东平远龙文—黄田保护区兽类 15 种、鸟类 43 种^[17],广西桂林猫儿山保护区监测到的兽类 17 种、鸟类 30 种^[18];作者团队在广东连南板洞保护区监测到的兽类 16 种、鸟类 39 种(未发表数据)。大鲵保护区面积相对较小(仅 14.93 km²),但是通过一年的红外相机监测也发现了比较丰富的大中型兽类和地栖型鸟类。余杰华^[7]通过整理历史资料和数据,在大鲵保护区及周边地区共记录到兽类 20 种、鸟类 102 种;通过比对,本次调查到的物种中有 11 种兽类、16 种鸟类未在余杰华^[7]的名录里,其中包括国家一级重点保护物种 1 种(黄腹

角雉)、国家二级重点保护物种 7 种(猕猴、斑林狸、毛冠鹿、白眉山鹧鸪、凤头鹰、仙八色鸫、黑喉噪鹛)(表 2)。本次调查数据进一步弥补了大鲵保护区的兽类和鸟类物种多样性,特别是增加的国家一级和二级重点保护物种,大大提升了大鲵保护区的保护意义。

在红外相机监测到的 43 种鸟兽中,网格占有率前三的大中型兽类是野猪、豹猫、鼬獾,鸟类是白鹇、虎斑地鸫、紫啸鸫。相对多度指数 RAI 前三的大中型兽类是野猪、鼬獾、红腿长吻松鼠,鸟类是白鹇、虎斑地鸫、紫啸鸫。由此可见,在大鲵保护区大中型兽类中的野猪不仅分布范围大,种群数量也相对较高;而豹猫分布虽然范围较大,但是拍摄到的次数相对较少,可能是种群数量较低,或者是因为豹猫被重复拍摄的几率低,而红腿长吻松鼠相同个体活动范围相对较窄,在同一个位置被重复拍摄的几率较高。范宗骥等^[16]通过

表3 红外相机监测到的鸟兽多样性与环境因子的关系
Table 3 The relation between the diversity of mammals and birds monitored by infrared camera and environmental factors

项目 Items	水平 Level	样本量 Number	物种数 No. of species	有效照片数 No. of valid photo
植被类型 Vegetation type	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	29	7.6 ± 3.0	35.5 ± 21.0
	针阔混交林 Conifer broadleaved mixed forest	7	5.6 ± 4.4	21.3 ± 13.8
	针叶林 Coniferous forest	4	4.8 ± 2.4	19.8 ± 17.3
	竹林 Bamboo forest	3	3.7 ± 2.6	8.7 ± 2.4
坡向 Slope aspect	南坡 Southern slope	25	7.1 ± 3.7	36.0 ± 24.0
	北坡 North slope	18	6.3 ± 3.1	21.4 ± 15.6
坡度 Slope	陡坡 Steep slope	17	6.5 ± 3.9	29.5 ± 18.9
	缓坡 Gentle slope	20	6.6 ± 3.1	26.2 ± 14.3
	平坦 Flat slope	6	8.2 ± 3.1	43.3 ± 17.5
水源距离 Distance to water	小于 Less than 100 m	20	5.6 ± 3.8	21.6 ± 17.6
	大于 Greater than 100 m	23	7.7 ± 2.8	37.0 ± 23.1
乔木密度 Arbor density	稀疏 Sparse	29	7.0 ± 3.4	32.3 ± 23.6
	密 Dense	14	6.2 ± 3.7	24.8 ± 17.7

表4 保护区内外红外相机监测到的鸟兽多样性对比
Table 4 Comparison the diversity of mammals and birds between inside and outside nature reserve

项目 Items	样本量 Number	物种数 No. of species	有效照片数 No. of valid photo	香农-威纳指数 Shannon-wiener	辛普森指数 Simpson	皮诺指数 Pielou
保护区内 Inside nature reserve	30	6.2 ± 3.2	25.8 ± 17.9	1.07 ± 0.05	0.55 ± 0.02	0.51 ± 0.02
保护区外 Outside nature reserve	13	8.0 ± 3.8	39.2 ± 27.8	1.13 ± 0.06	0.56 ± 0.03	0.52 ± 0.03

红外相机监测鼎湖山及周边林地的结果表明,兽类中相对多度指数排前三的依次为野猪、鼬獾和赤麂,鸟类依次为白鹇、橙头地鸫和紫啸鸫;汪国海等^[18]在广西猫儿山保护区的监测结果前三的兽类则是红腿长吻松鼠、隐纹松鼠、野猪,鸟类是白鹇、紫啸鸫、红嘴相思鸟。在红外相机监测数据分析时,某些动物的行为可能会影响到最后分析得出的结果,例如,我们在分析红外相机拍摄到的图像资料时,发现红腿长吻松鼠、紫啸鸫等同一只个体喜欢在某些位置反复出现,可能会导致高估其相对多度指数。

红外相机在不同季节拍摄到的鸟兽多样性变

化,通常与其活跃程度、迁徙等相关^[19-20]。大陂保护区监测到的大中型兽类物种数除了5月份较高达到13种,其余月份差异不大(6~9种);地栖型鸟类物种数则变化较明显,春、冬两季拍摄到的种类较多,可能与鸟类迁徙相关。刘正霄等^[21]对陕西老县城保护区监测的结果则认为,红外相机在不同季节拍摄到的鸟兽物种数差异不明显,但是却发现不同季节的独立有效照片差异显著,保护区内监测物种夏季和秋季活动较活跃,原因是不同物种在各个季节对食物资源的需求不同及生活习性有关。大陂保护区拍摄到的大中型兽类与地栖型鸟类独立有效照片的季节变化表现

出不同的模式,前者在冬季拍摄到的较多,其次为春季、秋季、夏季;后者则是在秋季拍摄到的较多,其次为春季、夏季、冬季。冬季食物相对短缺,兽类需要在更大的范围觅食,活跃程度增加,从而导致拍摄到的几率更大^[22];而秋季更多果实掉落在地面,可能是导致拍摄到的鸟类几率增加的原因。此外,具有较大海拔跨度的山区动物特别是兽类通常存在随季节而垂直迁移的行为^[23],从而引起不同海拔带上动物多样性的季节变化。

通过方差分析大鲵保护区不同生境因子对红外相机拍摄到的鸟兽多样性影响,结果表明,鸟兽丰富度随海拔梯度升高而增加,倾向于离水源较远、在常绿阔叶林和针阔林活动,喜欢选择阳光充足的南坡;而地势的坡度和乔木密度对鸟兽丰富度则没有表现出影响。关于物种多样性的海拔梯度变化研究报道较多,McCain^[24-27]以全球山区的小型兽类、鸟类、两栖爬行类等动物和植物为对象进行系统研究,总结出目前被普遍接受的 4 种物种多样性海拔分布格局:单调递减格局、低平台格局、中峰格局和偏峰格局。不同动物类群物种多样性海拔分布格局存在差异,4 种格局在鸟类中的比例几乎相等;近 50% 的研究表明两栖爬行类为单调递减格局,低平台格局和中峰格局则各占 20%^[28]。为解释不同海拔分布格局的形成机制,科学家先后提出了 100 多种假说^[29],但是这些假说都是基于 4 大因素:气候、空间、进化、种间相互作用^[28]。大鲵保护区红外相机监测到的大中型兽类和鸟类多样性与海拔梯度成正相关,拟合曲线呈双峰模式,可能主要是因为海拔范围较为局限,红外相机位点最高的位置也仅在 1 500 m 左右。广西猫儿山保护区红外相机监测结果表明,仅鸟类物种数表现出海拔梯度的差异,且呈现出偏峰格局,在中高海拔区域物种数较高^[18]。因此,足够的海拔跨度才能更好的探讨动物多样性垂直分布格局。此外,低海拔区域更强的人类干扰,也可能是导致鸟兽物种多样性低的原因。在调查过程中发现,大鲵保护区存在一定的人类活动,如采摘茶叶和灵芝、挖笋等,这些干扰在低海拔区域强度相对较大,野生动物为了避免干扰倾向于在更高海拔区域活动。海拔较高的区域,鸟兽多样性较高,可能也是距离水源较远的区域鸟兽多样性较高的原因,因为在大鲵保护区,较

高海拔的区域通常缺乏水源,如溪流、水库。

比较分析常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林、竹林不同生境类型的鸟兽多样性,结果表明,大鲵保护区红外相机监测到的鸟兽多样性在这 4 种生境中依次降低。通常而言,植被结构越复杂,意味着空间异质性程度越高,生物多样性也越高^[30-31]。常绿阔叶林、针阔混交林的空间异质比针叶林、竹林要高一些,前二者生境层次较为复杂,食物资源充足且多样,隐蔽性也更好;后二者植物类型单一,并且提供的食物来源也相对少。

本研究显示大鲵保护区分布有多种珍稀濒危的大中型兽类和地栖型鸟类,包括 1 种国家一级重点保护野生动物、10 种国家二级重点保护野生动物,其中国家一级重点保护的黄腹角雉和二级重点保护的毛冠鹿,近期在广东省发现的相对较少。此次监测结果可以作为保护区其他调查方法的补充与印证,为更全面的掌握保护区野生动物资源提供基础数据,也为保护区制定相应的保护措施提供科学依据。

致谢:感谢大鲵保护区的黄畅生、邓福友、唐志海、唐海平、唐豆五、唐春荣、唐慧城和广东省科学院动物研究所的赵燕辉、郭敏、林佳勇、邱杰君、邓瑾在野外工作中的帮助。

参考文献

- [1] 肖治术. 红外相机技术在我国自然保护地野生动物清查与评估的应用[J]. 生物多样性, 2019, 27(3): 235-236.
- [2] 李晟, 王大军, 肖治术, 等. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景[J]. 生物多样性, 2014, 22(6): 685-695.
- [3] 肖治术, 李欣海, 姜广顺. 红外相机技术在我国野生动物监测研究中的应用[J]. 生物多样性, 2014, 22(6): 683-684.
- [4] HEYWOOD V H. Global Biodiversity Assessment[M]. New York: Cambridge University Press, 1995.
- [5] 贺金生, 马克平. 生物多样性编目与监测进展[C]//中国科学院生物多样性委员会, 国家环境保护总局自然生态保护司, 国家林业局野生动植物保护司. 面向 21 世纪的中国生物多样性保护: 第三届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [6] 马克平. 监测是评估生物多样性保护进展的有效途径

- [J]. 生物多样性, 2011(19):125-126.
- [7] 余杰华, 林思亮, 林泽花, 等. 广东连南大陂省级自然保护区及周边生物多样性及保育[M]. 北京: 中国林业出版社, 2022.
- [8] SMITHAT, 解焱. 中国兽类野外手册[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2009.
- [9] 魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 等. 中国兽类名录[J]. 2021 版. 兽类学报, 2021, 41(5):487-501.
- [10] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇. 中国鸟类野外手册[M]. 长沙: 湖南教育出版社, 2000.
- [11] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录[M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2017.
- [12] O'CONNELL A F, NICHOLS J D, KARANTH K U. Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses [M]. New York: Springer, 2011.
- [13] O'BRIEN T G, KINNAIRD M F, WIBISONO H T. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran and prey populations in a tropical forest landscape[J]. Animal Conservation, 2003, 6(2):131-139.
- [14] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species[EB/OL]. Version 2022-2. 2023. <https://www.iucnredlist.org>.
- [15] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录[J]. 生物多样性, 2016, 24(5):500-551.
- [16] 范宗骥, 欧阳学军, 万雅琼, 等. 基于红外相机技术对广东鼎湖山及其周边林地的鸟兽调查[J]. 生物多样性, 2020, 28(9):1147-1153.
- [17] 陈远忠, 姜尧柱, 林石狮, 等. 基于红外相机技术对广东平远龙文-黄田省级自然保护区林下鸟兽生物多样性监测[J]. 林业与环境科学, 2023, 39(4):40-48.
- [18] 汪国海, 李生强, 施泽攀, 等. 广西猫儿山自然保护区的兽类和鸟类多样性初步调查: 基于红外相机监测数据[J]. 兽类学报, 2016, 36(3):338-347.
- [19] 雍严格, 曹庆, 唐新成, 等. 佛坪大熊猫冬季栖息地的功能和面临的主要问题[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(6):98-101.
- [20] 贾晓东, 刘雪华, 武鹏峰, 等. 利用红外相机技术分析秦岭有蹄类动物活动节律的季节性差异[J]. 生物多样性, 2014, 22(6):737-745.
- [21] 刘正霄, 李东群, 田成, 等. 基于红外相机技术对陕西老县城国家级自然保护区大中型兽类及林下鸟类资源分析[J]. 动物学杂志, 2020, 55(2):153-164.
- [22] 马亦生, 马青青, 孙亮, 等. 基于红外相机技术对佛坪国家级自然保护区大熊猫季节性空间分布与活动模式的研究[J]. 动物学杂志, 2020, 55(1):20-28.
- [23] BARCANTE L M, VALE M S, ALVES A. Altitudinal migration by birds: a review of the literature and a comprehensive list of species[J]. Journal of Field Ornithology, 2017, 88(4):321-335.
- [24] MCCAIN C M. Elevational gradients in diversity of small mammals[J]. Ecology, 2005, 86:366-372.
- [25] MCCAIN C M. Could temperature and water availability drive elevational species richness? A global case study for bats[J]. Global Ecology and Biogeography, 2007, 16:1-13.
- [26] MCCAIN C M. Global analysis of bird elevational diversity[J]. Global Ecology and Biogeography, 2009, 18:346-360.
- [27] MCCAIN C M. Global analysis of reptile elevational diversity[J]. Global Ecology and Biogeography, 2010, 19:541-553.
- [28] MCCAIN C M, GRYTNES J A. Elevational Gradients in Species Richness//Encyclopedia of Life Sciences[M]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.
- [29] LOMOLINO M V. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views[J]. Global Ecology and Biogeography, 2001, 10(1):3-13.
- [30] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.
- [31] DIAZ L. Influences of forest type and forest structure on bird communities in oak and pine woodlands in Spain[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 223(1):54-65.